

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
DEPARTAMENTO DE ESTATÍSTICA E CIÊNCIAS ATUARIAIS

MÁRCIA HELENA GALINA DOMPIERI

**APLICAÇÃO DE TÉCNICAS ESTATÍSTICAS MULTIVARIADAS NA CLASSIFICAÇÃO
DE IMAGENS ORBITAIS, NA REGIÃO DO BAIXO SÃO FRANCISCO (SE/AL)**

SÃO CRISTÓVÃO/SE

2017

MARCIA HELENA GALINA DOMPIERI

**APLICAÇÃO DE TÉCNICAS ESTATÍSTICAS MULTIVARIADAS NA CLASSIFICAÇÃO
DE IMAGENS ORBITAIS, NA REGIÃO DO BAIXO SÃO FRANCISCO (SE/AL)**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
ao Departamento de Estatística e Ciências
Atuariais, como requisito parcial para obtenção
do título de Bacharel em Estatística.

Orientador: Prof. Dr. Jose Rodrigo Santos Silva

SÃO CRISTÓVÃO
2017

APLICAÇÃO DE TÉCNICAS ESTATÍSTICAS MULTIVARIADAS NA CLASSIFICAÇÃO DE IMAGENS ORBITAIS, NA REGIÃO DO BAIXO SÃO FRANCISCO (SE/AL)

Trabalho de conclusão de curso apresentado
ao Departamento de Estatística e Ciências
Atuariais, como requisito parcial para obtenção
do título de Bacharel em Estatística.

Monografia aprovada em: 27/09/2017.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. José Rodrigo Santos Silva
ORIENTADOR

Prof. Dr. Sadraque Enéas de Figueiredo Lucena
EXAMINADOR

Prof. Dr. Carlos Raphael Araújo Daniel
EXAMINADOR

AGRADECIMENTOS

Ao professor orientador, Dr. Jose Rodrigo Santos Silva pelo aceite na orientação e pela sua dedicação e profissionalismo na condução da atividade docente.

Aos professores do Departamento de Estatística, na pessoa do atual Chefe de Departamento, Dr. Sadraque Lucena.

Aos colegas de curso pela companhia e amizade.

RESUMO

Classificar uma imagem orbital significa extrair uma ou mais feições georreferenciadas das cenas, em função do comportamento diferenciado da reflectância dos materiais constituintes da superfície, ao longo do espectro eletromagnético. As cenas equivalem a matrizes bidimensionais de dados. O objetivo do presente trabalho é a classificação de imagens orbitais por meio da aplicação de técnicas estatísticas multivariadas – Análise por Componentes Principais (ACP) e Agrupamento (K-means). As imagens foram advindas do sensor MSI, a bordo do satélite Sentinel-2, na região do Baixo São Francisco, estados de Sergipe e Alagoas. Para auxiliar no processo de associação das classes, houve a organização de uma base de dados georreferenciados e sua espacialização em intervalos de frequência, sobre as principais atividades praticadas na área em 2015 - rizicultura, canavicultura, aquicultura, bovinocultura e ovinocultura. Os resultados indicaram que a aplicação da técnica de agrupamento nos primeiros e segundo componentes permitiram uma melhor separação das classes de uso do solo na área, além de menor tempo de processamento. A classe equivalente à pastagem degradada ou em processo de degradação foi a mais representativa (28%). Quase 20% da área foram contabilizados como solos expostos somados a poucos aglomerados urbanos. Quase 15% da água superficial continental classificada apresentou alta ocorrência de sedimentos em suspensão, indicando forte assoreamento dos corpos hídricos.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto, Sentinel2, K-médias, Análise de Componentes Principais

ABSTRACT

The classification process of an orbital image involves the extraction of one or more features of interest because of the difference in reflectance between surface constituent materials, along the electromagnetic spectrum. The scenes are equivalent to two-dimensional arrays. The main goal of this manuscript is the classification of orbital images from the MSI sensor aboard the Sentinel-2 satellite. The study area corresponds to the counties located in the region of the Lower São Francisco River region, in the states of Sergipe and Alagoas, by means of multivariate statistical techniques (Principal Components Analysis and K-means). In addition, a geospatial database was organized containing the main activities practiced in the area in 2015 – productions of rice, sugar cane, fish, cattle and sheep, which was spatialized in frequency intervals in order to help the process of class association. The results indicated the degraded pasture as the most representative (28%). Almost 20% of the area was identified as exposed soils in a few urban settlements, and about 15% of the continental surface water identified showed a high occurrence of suspended sediment, indicating a strong sedimentation of the water bodies.

Key words: Remote Sensing, Sentinel2, K-means, Principal Component Analysis

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Localização da área de estudo – municípios do Baixo São Francisco e delimitação dos limites da Bacia do São Francisco.....	03
Figura 2- Ilustração sobre a obtenção das cenas orbitais	04
Figura 3- Ilustração de cenas orbitais com diferentes resoluções espaciais: Landsat 30m – A; Spot 10m – B e Ikonos 1m – C.....	06
Figura 4- Imagens com diferentes resoluções radiométricas	06
Figura 5- Ilustração dos números digitais	07
Figura 6- Bandas de 10m de resolução espacial, com as respectivas resoluções espectrais. Fonte: ESA, 2017.....	09
Figura 7- Cenas 1 e 2: 16Maio2017 / Cena 3: 24Nov2016	10
Figura 8- Produção (ton.) e valor da produção (mil) de peixes, ostras e camarões, em 2015, no Brasil. Fonte: IBGE (2017)	14
Figura 9 - Produção (ton.) e valor da produção (mil) de larvas e pós-larvas de camarão, alevinos e sementes de moluscos, em 2015, no Brasil. Fonte: IBGE (2017)..	15
Figura 10 – Produção de peixes nos estados da Região Nordeste (ton.)	15
Figura 11- Produção (ton.) e valor da produção (mil) de tambaqui, tilápia e camarão, em 2015, em Alagoas.....	16
Figura 12- Produção (ton) e valor da produção (mil) de tambaqui, tilápia e camarão, em 2015, em Alagoas	16
Figura 13 – Produção de peixes (ton.) nos municípios do Baixo São Francisco.....	17
Figura 14 – Produção de arroz (ton.) nos municípios do Baixo São Francisco.....	18
Figura 15 - Produção de cana-de açúcar (ton.) nos municípios do Baixo São Francisco.....	19
Figura 16 - Produção de bovinos e ovinos (cabeças) nos municípios do Baixo São Francisco.....	19
Figura 17- Resultado do transformação por componentes principais – variância concentrada nos dois primeiros componentes	20
Figura 18- Resultado do agrupamento de pixels a partir do processamento das quatro bandas originais (B2,B3,B4,B8) e associação dos grupos com as classes de	

uso do solo.....	22
------------------	----

Figura 19- Resultado do agrupamento a partir do processamento dos dois primeiros componentes principais (PC1, PC2) e associação dos grupos com as classes de uso do solo	23
---	----

Figura 20- Localização das amostras de água coletadas no município de Propriá(SE) para avaliação do grau de concentração de piretróides.	29
--	----

Figura 21- Cultivo de arroz e tanques destinados a criação de peixes.	29
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Intervalo espectral e seus comprimentos de onda	5
--	---

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Amostras com resultado da classificação não-supervisionada	24
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACP- Análise por Componentes Principais

ANA - Agência Nacional das Águas

APP – Área de Proteção Permanente

CHESF - Companhia Hidroelétrica do São Francisco

CODEVASF - Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e Parnaíba

DN – Digital Numbers

DNPM - Departamento Nacional de Pesquisa Mineral

ESA – European Spatial Agency

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDH - Índices de Desenvolvimento Humano

IFOV - Instantaneous Field Of View

Landsat OLI - Land Remote Sensing Satellite- Operational Land Imager (Sensor)

Landsat ETM - Land Remote Sensing Satellite- Enhanced Thematic Mapper (Sensor)

Landsat TM - Land Remote Sensing Satellite- Thematic Mapper (Sensor)

NDVI – Normalized Vegetation Index

PEC - Padrão de Exatidão Cartográfica

Sentinel2 MSI - MultiSpectral Instrument (Sensor)

SIDRA - Sistema IBGE de Recuperação Automática

SWIR - Shortwave Infrared

TOA - Top-Of-Atmosphere

USGS – United States Geological Service

VNIR - Visible–Near Infrared

SUMÁRIO

1. Introdução	03
2. Sensoriamento Remoto	05
3. Dados e metodologia	10
3.1 - Dados.....	10
3.2 - Metodologia.....	12
3.2.1- Análise por Componentes Principais	12
3.2.2- Agrupamento k-means	13
4. Resultados e discussões.....	15
4.1 - Espacialização e análise dos dados de produção agrícola e pecuária municipal	15
4.2 - Análise do processamento das imagens orbitais	21
5. Considerações Finais.....	31
6. Referências.....	32

2- INTRODUÇÃO

Na década de 1970, como forma de minimização dos danos causados à população dependente das águas do rio São Francisco à jusante, por conta da construção das barragens Três Marias, Sobradinho e Itaparica, pela Companhia Hidroelétrica do São Francisco (CHESF), deu-se o processo de instalação dos perímetros irrigados, inicialmente em Propriá (SE) e Itiuba (AL), sob o comando da Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e Parnaíba (CODEVASF). No entanto, além do traumático processo de desapropriação das terras e assentamento dos parceiros, não houve articulação de políticas públicas para provimento da infraestrutura complementar para fins de escoamento, comercialização e armazenamento da produção, nem o fornecimento de subsídio e crédito pelo período adequado, situação que culminou com o abandono de muitos lotes, em função do endividamento dos produtores (MARTINS, 2011; ESTEVES, 2012).

Além de apresentar um dos mais baixos Índices de Desenvolvimento Humano (IDH) do estado (IBGE, 2017), alguns dos problemas apontados atualmente nessa área estão relacionados com o manejo inadequado dos sistemas agropecuários, exploração mineral sem o devido zoneamento e degradação das áreas com remanescentes de mata nativa, entre outros.

Os piores IDHs do país estão vinculados ao espaço rural, cuja população residente é privada do acesso aos bens e serviços essenciais, sobretudo saúde, educação/capacitação e saneamento básico. Tal contexto é herança do regime agroexportador escravocrata colonial somado à desarticulação de ações entre os órgãos públicos e à falta de planejamento e continuidade na implantação de políticas de desenvolvimento regional e local (ESTEVES, 2012). Este é o cenário em que está inserida a região do Baixo São Francisco de Sergipe e Alagoas.

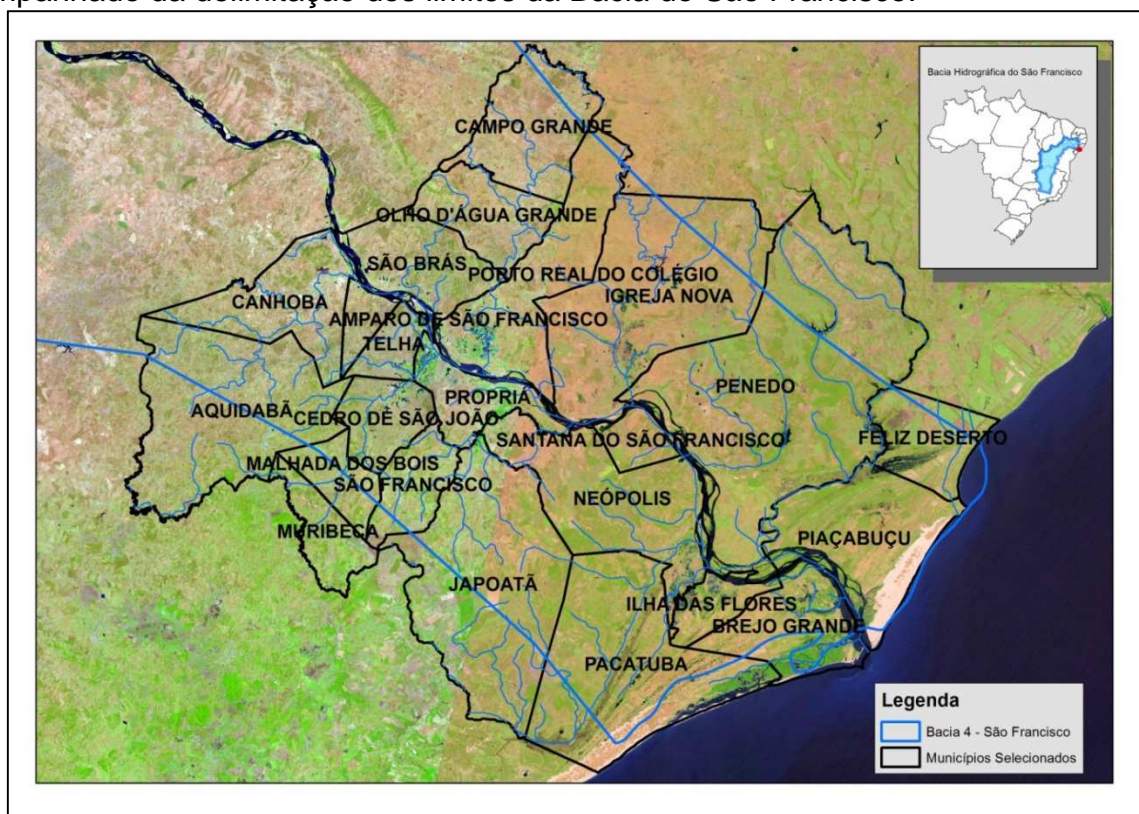
As consequências estão diretamente relacionadas à questão da sustentabilidade ambiental e socioeconômica, tais como a contaminação das águas por insumos agropecuários, antibióticos e matéria orgânica, acentuação do grau de assoreamento dos corpos hídricos, avanço da salinidade da água e do solo em função da diminuição da vazão, além da degradação dos solos e desequilíbrio nos ecossistemas locais em função da não adoção de práticas conservacionistas e do avanço do desmatamento indiscriminado, comprometendo a preservação de recursos genéticos (FREIRE, 2014).

O mapeamento do uso do solo é um dos instrumentos de gestão territorial que permite cartografar e inventariar o processo de ocupação das terras, assim como indicar

suas potencialidades, limitações e fragilidades. Atualmente há missões espaciais norte-americanas e europeias que disponibilizam à comunidade científica produtos de alta qualidade (imagens e softwares) para a confecção de mapeamentos, monitoramentos e zoneamentos, permitindo a identificação e o monitoramento de fenômenos de interesse em grandes extensões de terra (ESA, 2017). Esses documentos cartográficos fornecem subsídios técnicos para o planejamento e proposição de políticas públicas nas várias esferas de governo.

O objetivo principal do presente estudo é classificação de imagens orbitais (sensor MSI, satélite europeu Sentinel-2) por meio da aplicação de técnicas advindas da estatística multivariada: análise de componentes principais (ACP) e agrupamento (k-means). Adicionalmente, como forma de orientar na definição das classes a partir dos agrupamentos, houve a estruturação de uma base de dados geoespaciais sobre as produções agrícola e pecuária municipais mais expressivas - arroz, cana-de-açúcar, peixes, bovinos e ovinos – com a espacialização desses atributos em classes de frequência. A área de estudo abrangeu os municípios pertencentes à região do Baixo São Francisco, nos estados de Sergipe e Alagoas (Figura 1).

Figura 1- Localização da área de estudo – municípios do Baixo São Francisco acompanhado da delimitação dos limites da Bacia do São Francisco.



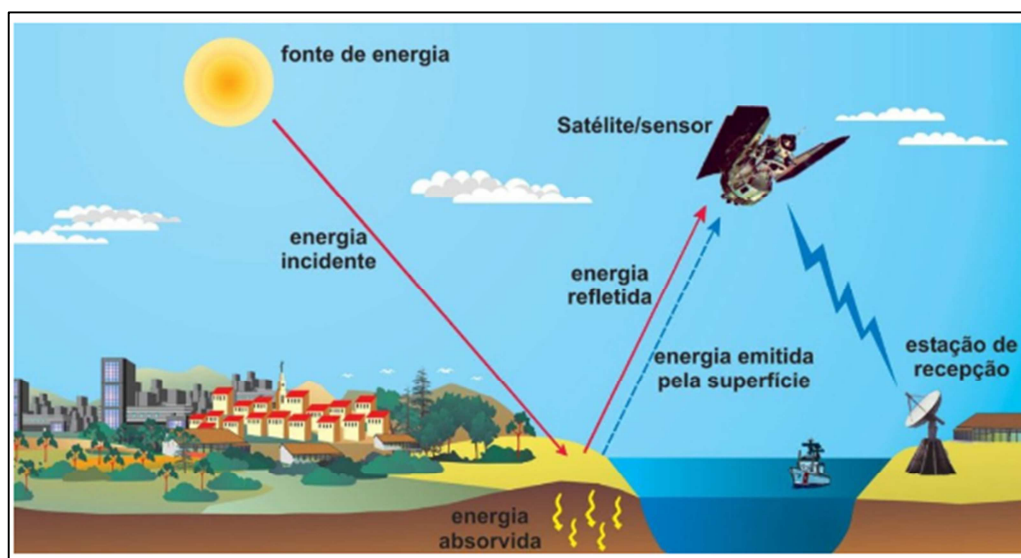
Fonte: Imagens (USGS, 2017) e Vetores (IBGE, 2017). Org: Dompiéri(2017)

2- SENSORIAMENTO REMOTO

O sensoriamento remoto envolve tecnologias de coleta de dados por meio de sensores a bordo de satélites e/ou de veículos aéreos (tripulados e não tripulados) para análise, mensuração e monitoramento dos recursos terrestres para várias finalidades: agrícola, pecuária; ambiental (monitoramento queimadas, desflorestamento), mineração, desastres naturais, uso urbano (ordenamento territorial/ implantação de equipamentos públicos), obtenção de variáveis climáticas, meteorologia por satélite, etc (FLORENZANO, 2011; JENSEN, 2009).

A Figura 2 ilustra a obtenção de dados dos constituintes da superfície da Terra a partir de uma fonte de energia (sol), portanto sensores ativos, e a Tabela 1 indica em negrito os comprimentos de onda que torna possível a obtenção de produtos na área de sensoriamento remoto.

Figura 2- Ilustração sobre a obtenção das cenas orbitais



Fonte: Florenzano (2011)

Tabela 1- Intervalo espectral e seus comprimentos de onda

Intervalo Espectral	Comprimento de Onda
Raios cósmicos	0,01 A°
Raios gama	0,01 – 0,1 A°
Raios X	0,1 – 10 A°
Ultravioleta	100nm – 0,38µm
Visível	0,38 – 0,76 µm
Infravermelho próximo	0,76 – 1,2 µm
Infravermelho de ondas curtas	1,2 – 3,0 µm
Infravermelho médio	3,0 – 5,0 µm
Infravermelho termal	5,0 µm – 1 mm
Micro-ondas	1 mm – 100 cm
Rádio	1 m – 10 km
Áudio	10 – 100 km
Corrente alternada	> 100 km

Obs: A° = 10^{-10} m; nm = 10^{-9} m; µm = 10^{-6} m

Fonte: Meneses e Almeida (2012)

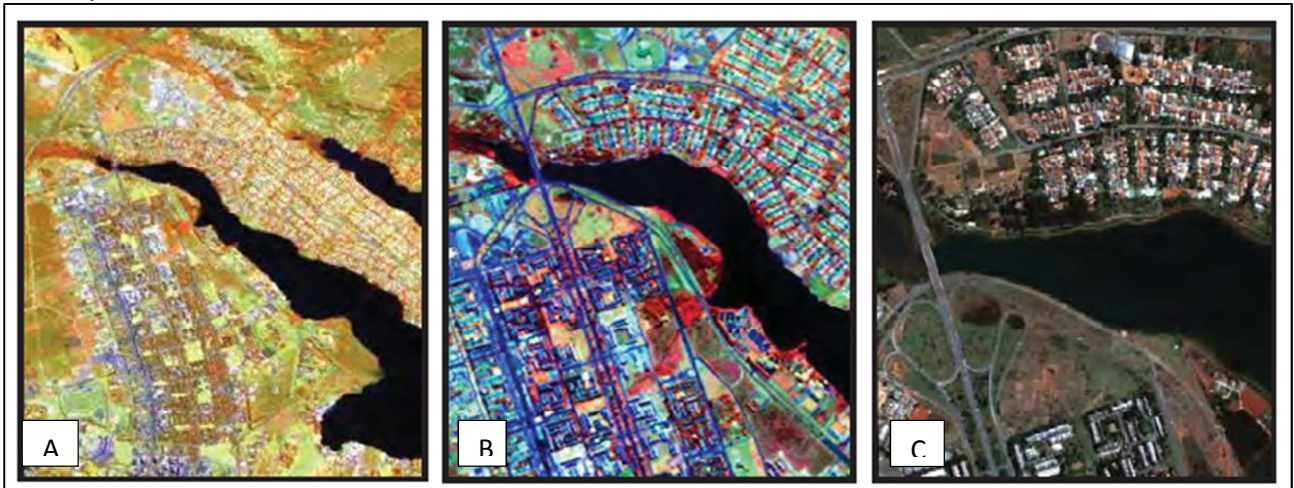
A utilização de dados advindos de imagens orbitais para produção de mapeamentos, zoneamentos ou monitoramentos pressupõe a definição de algumas variáveis, como a extensão da área a ser mapeada, a escala pretendida, o intervalo da série temporal ou a da época do ano a ser considerada. Tais requisitos definirão as resoluções espacial, temporal e radiométrica das cenas e, portanto, os produtos mais adequados a serem empregados em um projeto dessa natureza.

Segundo Moreira (2001), a resolução espacial (Figura 3) está relacionada com a geometria ou campo de visada instantânea (Instantaneous Field Of View, IFOV) do sensor e também com as propriedades óticas do alvo. No primeiro caso, trata-se da capacidade de distinção de uma área no terreno pelo sensor, numa dada altitude e instante de tempo, a qual pode ser medida em relação ao ângulo de incidência ou à distância no terreno. Quanto à propriedade ótica das feições na superfície da Terra, a resolução espacial é definida pela difusão do ponto de radiação.

A resolução temporal indica o intervalo de tempo, comumente em dias, para a revisita de um satélite a determinada área de interesse.

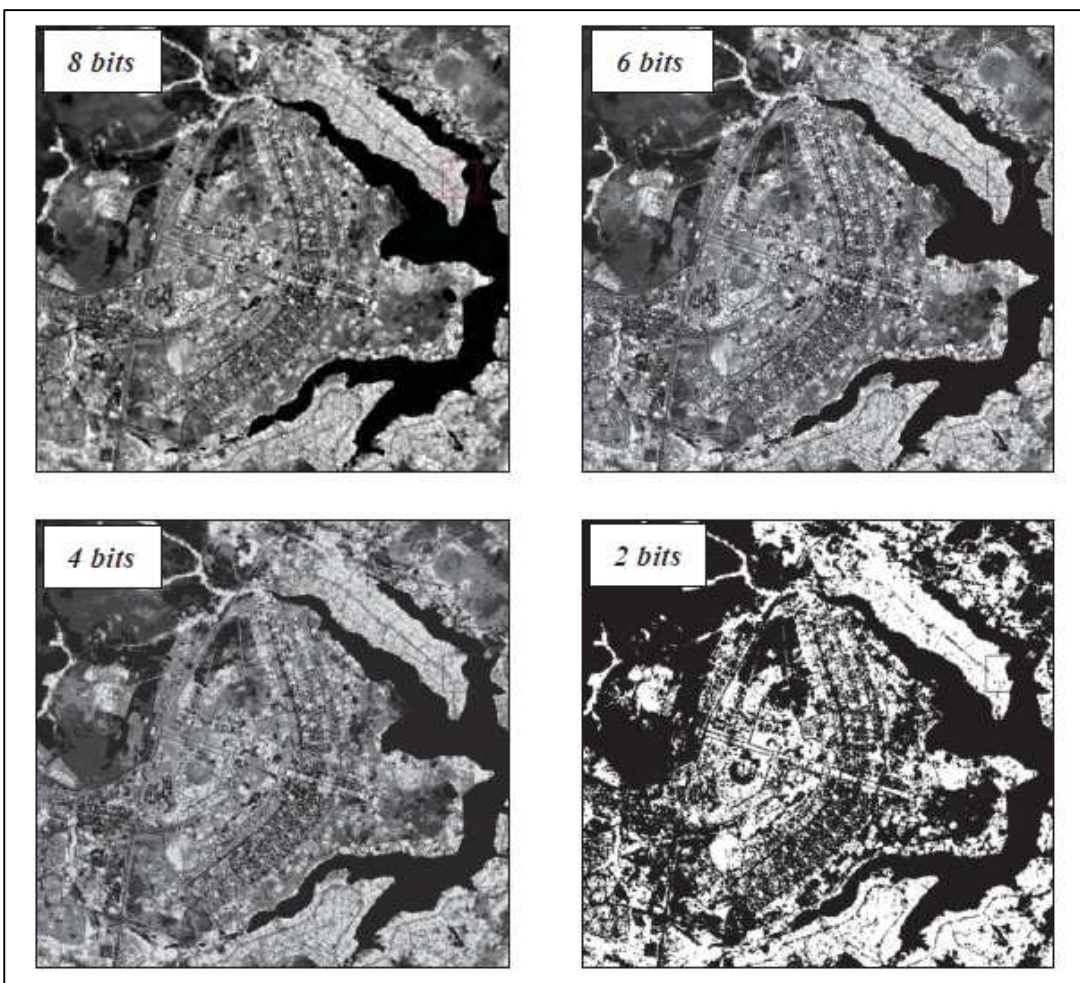
A resolução radiométrica (Figura 4) refere-se à capacidade do sensor em discriminar alvos com pequenas diferenças de radiação refletida e/ou emitida; ela é dada em bits e reflete os níveis de cinza ou número digital do pixel, conforme ilustrado na Figura 5.

Figura 3- Ilustração de cenas orbitais com diferentes resoluções espaciais: Landsat 30m – A; Spot 10m – B e Ikonos 1m – C.

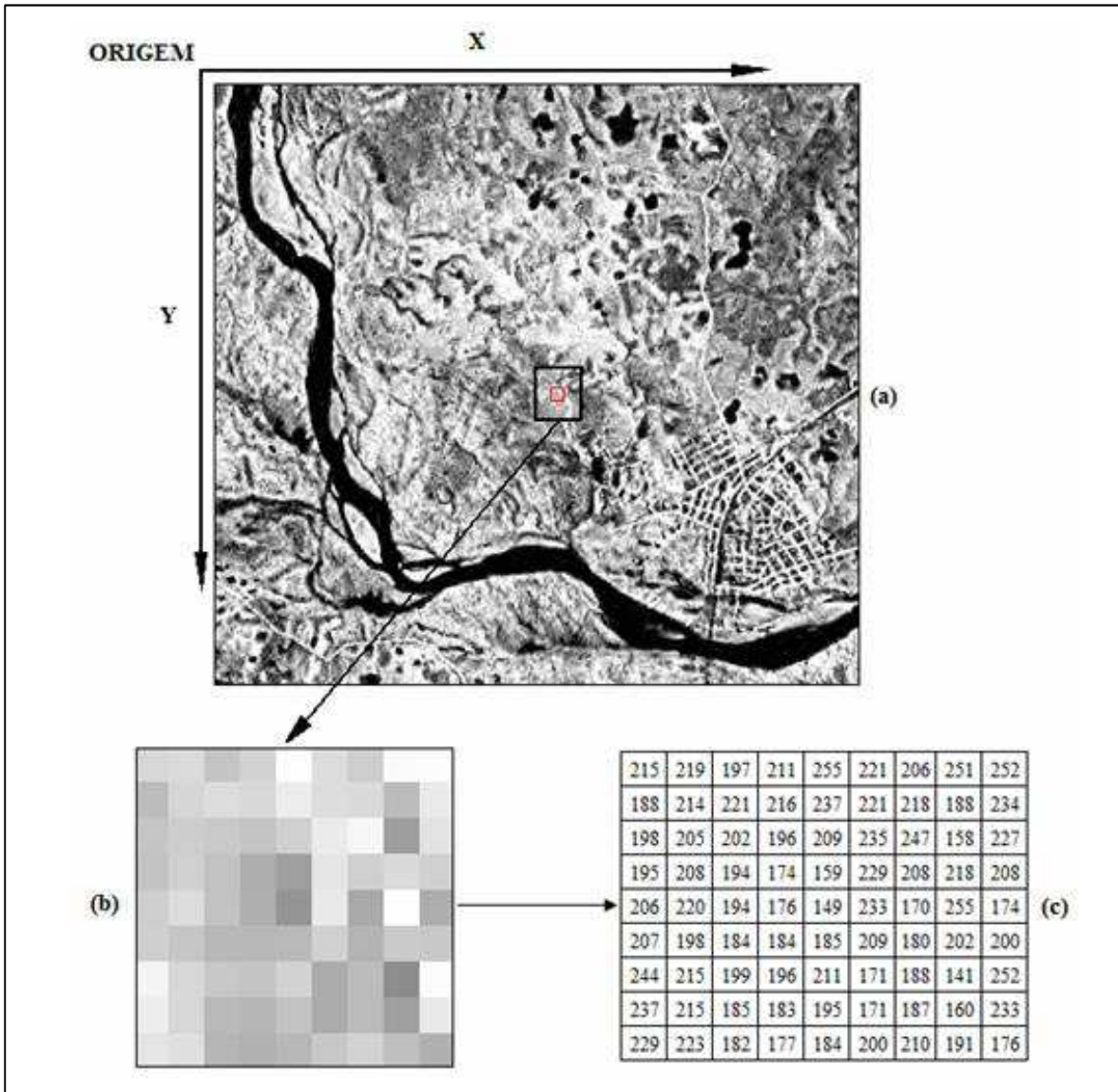


Fonte: Meneses e Almeida (2012)

Figura 4- Imagens com diferentes resoluções radiométricas



Fonte: Meneses e Almeida (2012)

Figura 5- Ilustração dos números digitais

Fonte: Meneses e Almeida (2012)

Segundo Meneses e Almeida (2012), a escolha das cenas também deve considerar as interferências atmosféricas, uma vez que a radiação eletromagnética interage com as moléculas dos constituintes gasosos e com o material particulado suspenso na atmosfera, interferindo na intensidade do fluxo radiante, na distribuição espectral e na direção dos raios incidentes, tanto na trajetória descendente quanto ascendente da radiação refletida e emitida da superfície terrestre para o sensor. Daí os efeitos de espalhamento (Rayleigh, Mie e Não-Seletivo) e de absorção da radiação.

Os pixels das imagens são classificados por meio das técnicas advindas da estatística multivariada. A classificação multiespectral pode ser baseada no pixel ou no grupo de pixels (regiões ou objetos), neste último caso, a partir do processo de

segmentação (LIU; MASON, 2009). Em ambos os casos é possível aplicar técnicas supervisionada, não-supervisionada e/ou mista.

Em mapeamentos de cultivos, Jensen (2009) evidencia que a vegetação verde e sadia apresenta uma assinatura espectral característica, influenciada pelos pigmentos existentes no mesófilo paliçádico, atuantes na região do visível do espectro eletromagnético (0,4-0,65 μm), o espalhamento da energia infravermelha no mesófilo esponjoso, região infravermelho próximo (0,65- 1,4 μm), e a quantidade de água presente na folha, região do infravermelho médio (aproximadamente 1,4- 2,6 μm). São estas características intrínsecas das plantas que permite a diferenciação entre as culturas plantadas e a vegetação natural.

Levantamentos nas mais diversas áreas e escalas podem ser obtidos a partir de dados orbitais. Liu et al. (2017) realizaram 68 medidas in loco no lago Poyabg, na China, para calibrar um modelo a fim de identificar a qualidade da água (concentração de partículas sólidas em suspensão) por meio do sensor MSI-Sentinel2 e concluíram a aplicabilidade a partir das bandas 4 e 7.

Li et al (2017) utilizaram índice de vegetação (NDVI) gerado por meio de imagens de satélite meteorológico (AHRR) para avaliar os impactos do El Niño, no período de 1982-2015, na extensão de toda a Eurásia.

Nitze et al. (2017) apresentaram uma metodologia de classificação de dados Landsat (TM, ETM+, OLI) para analisar mudanças climáticas com base na dinâmica dos lagos de quatro diferentes locais (Alaska North Slope, Western Alaska, Central Yakutia, Kolyma Lowland) na zona do permafrost do norte, entre 1999 e 2014.

Por meio da comparação dos mapeamentos de duas épocas distintas (2004 e 2014), na mesorregião Nordeste do Mato Grosso, Esquerdo, et al (2017) identificaram a expansão da agricultura em 263%. Essa ocupação avançou principalmente sobre áreas de pastagens, o que evidencia o processo de mudança do sistema de produção pecuária para o sistema de produção agrícola intensiva na região. Adicionalmente os autores mencionam a eliminação de cerca de 4.000 quilômetros quadrados de florestas nativas, comprometendo o Bioma Pantanal.

A partir dos estudos de caso citados, comprova-se o grande potencial de aplicação de dados advindos de sensores orbitais para estudos nas varias escalas de análise, em áreas inóspitas ou não, com o intuito de se avaliar a evolução da dinâmica do uso e cobertura da terra e gerar subsídios técnicos para indução de políticas públicas.

3. DADOS E METODOLOGIA

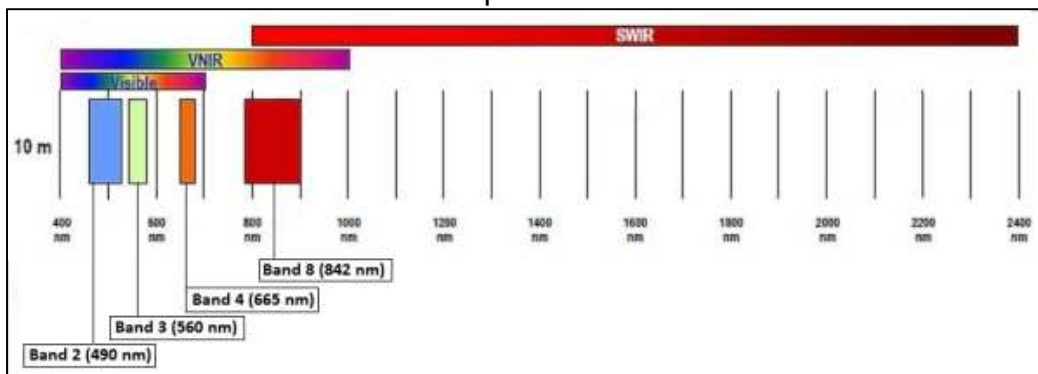
3.1- Dados

Os dados vetoriais georreferenciados foram obtidos junto ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Agência Nacional das Águas (ANA) e ao Departamento Nacional de Pesquisa Mineral (DNPM) e corresponderam, respectivamente, à divisão política dos estados de Sergipe/Alagoas e dos municípios componentes da área de estudo, à delimitação da bacia hidrográfica do São Francisco, e por fim, aos polígonos de mineração da área de estudo para auxiliar no processo de associação das classes.

Dados tabulares referentes à produção agrícola e pecuária municipal foram obtidos a partir da base SIDRA do IBGE, na sua última versão (2015), e corresponderam à produção aquícola, arroz com casca, cana-de-açúcar, rebanhos bovinos e ovinos. Tais bases foram espacializadas por meio de operações com SIG e posteriormente agrupadas em cinco classes, por meio do método de quantil – que atribui um mesmo número de feições para cada classe e se ajusta bem, sobretudo quando os dados são linearmente distribuídos.

Os dados matriciais foram providos de cenas advindas do sensor multiespectral (MSI - Multispectral Instrument) projeto SENTINEL-2, financiado pela Agência Espacial Europeia (ESA), distribuídos em 13 bandas espectrais VNIR (Visible–Near Infrared) e SWIR (Shortwave Infrared), obtidos partir do serviço “EarthExplorer” disponível pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS). Das 13 bandas espectrais, foram utilizadas as quatro seguintes: 490 nm (B2), 560 nm (B3), 665 nm (B4), 842 nm (B8), na resolução espacial de 10 m, que permite mapeamentos na escala de até 1:25.000, pelo Padrão de Exatidão Cartográfica (Figura 6).

Figura 6- Bandas de 10m de resolução espacial, com as respectivas resoluções espectrais.



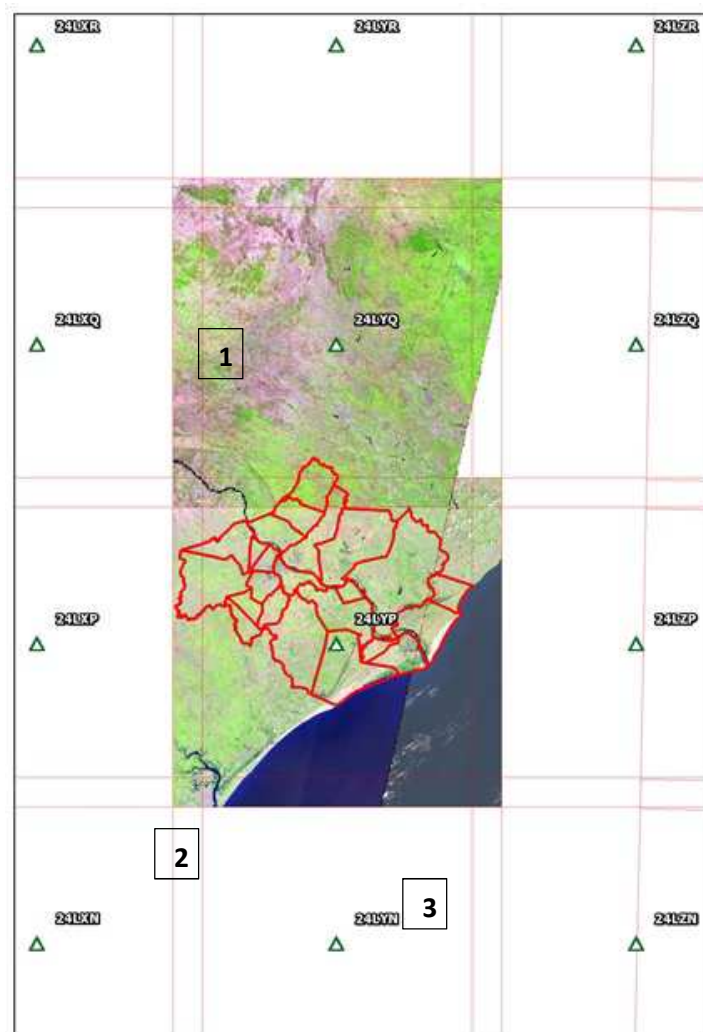
Fonte: ESA, 2017

O produto corresponde ao nível 2A que possui correção topo-atmosférica (TOA). A resolução radiométrica do instrumento MSI é de 12 bits, permitindo que a imagem seja adquirida em um intervalo de 0 a 4095 valores de intensidade de luz potencial. (ESA, 2017)

As maiores dificuldades na obtenção de cenas orbitais gratuitas estão relacionadas com o fato de coincidir o mesmo período sazonal (para garantir reflectâncias similares), obter intervalos de tempo curtos entre as tomadas de cenas (quando a área de estudo envolve várias delas) e a menor cobertura de nuvens possível.

Na Figura 7 pode-se observar a grade com o índice para obtenção das cenas (24LYQ e 24LYP), assim como a sobreposição necessária entre elas. Foram utilizadas duas imagens datadas de 16 de maio de 2017 e a terceira de 24 de nov de 2016, portanto períodos sazonais e interferência atmosférica distintas na terceira cena.

Figura 7- Cenas 1 e 2: 16/05/2017 e 24/11/2016.



Fonte: ESA/USGS (2017).Org: Dompieri(2017)

3.2- Metodologia

O software ENVI v. 5.4 SP1 foi utilizado para o processamento dos dados matriciais e o ArcGis v. 10.2 para os dados vetoriais.

Na fase de pré-processamento das imagens foram realizados o mosaicamento e o recorte com base na área de estudo, acrescido de um distanciamento de 5 km, a fim de garantir um limite de segurança.

O processamento das cenas foi elaborado por meio da aplicação da técnica de análise por componentes principais (ACP) e do algoritmo de agrupamento K-means ou K-médias. A técnica de agrupamento foi aplicada tanto ao conjunto de dados principais (B2,B3,B4 e B8) quanto aos dois primeiros componentes (CP1 e CP2).

3.2.1- Análise por Componentes Principais (ACP)

ACP é um procedimento que utiliza a transformação ortogonal de vetores para converter um conjunto de observações de variáveis correlacionadas em outro conjunto de de variáveis linearmente não correlacionadas. Pearson foi quem idealizou a técnica no século XIX, que é comumente usada como uma ferramenta de Análise Exploratória de Dados e para rodar modelos preditivos (PEARSON, 1901; ABDI; WILLIAMS, 2010). Em sensoriamento remoto, uma das principais funções da Análise por Componentes Principais é determinar a extensão da correlação existente entre duas ou mais bandas.

Segundo Liu e Mason(2009) e Estornell et al. (2013), uma imagem orbital pode ser expressa na forma matricial (Eq. 1), segundo a qual, na posição ij tem-se armazenado o número digital, cujo intervalo varia em função da resolução radiométrica. Neste estudo, os valores digitais variam de 0 a 4095 (12 bits):

$$A_{i,j} = \begin{bmatrix} x_{1,1} & \cdots & x_{1,n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m,1} & \cdots & x_{m,n} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Como as cenas são co-registradas, cada posição na matriz (DN) vai se diferenciar de banda para banda – em função da resolução espectral (Eq.2). No presente trabalho foram utilizadas quatro bandas (Red,Green,Blue,Infra-Red), portanto k igual a quatro.

$$A_{i,j} = \begin{bmatrix} \mathcal{X} \begin{bmatrix} b_1 \\ \vdots \\ b_k \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_1 \\ \vdots \\ b_k \end{bmatrix} & \cdots & x_{1,n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m,1} & \cdots & x_{m,n} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Para se reduzir a dimensionalidade do conjunto de todas as bandas, é necessário o cálculo dos autovalores a partir da matriz de covariância, em que $\sigma_{i,j}$ é a covariância de cada par de bandas:

$$\sigma_{i,j} = \frac{1}{N-1} \sum_{p=1}^N (DN_{p,i} - \mu_i)(DN_{p,j} - \mu_j), \quad (3)$$

$DN_{p,i}$: número digital do pixel p na banda i ;
 $DN_{p,j}$: número digital do pixel p na banda j ;
 μ : média dos números digitais
 N : quantidade de bandas

A partir da matriz de variância/covariância, os autovalores (λ) são calculados, assim como as raízes da equação característica, em que C é a matriz de covariância das bandas e I é a diagonal da matriz identidade.

$$\det(C - \lambda I) = 0, \quad (4)$$

Liu e Mason (2009) ressaltaram que a aplicação da transformação por componentes principais (PCA) antes da técnica de agrupamento pode evitar o excesso de pixels classificados erroneamente. Além disso, como o número de matrizes a serem processadas diminui, ocorre também diminuição do tempo de processamento.

3.2.2- Agrupamento k-means

O método de agrupamento k-means foi proposto por MacQueen (1967) e é um dos algoritmos de aprendizagem não supervisionado que permite, de forma simplificada, o particionamento de uma população N -dimensional dentro de k conjuntos, resolvendo o problema de agrupamento.

Por meio desse algoritmo, a classificação dos números digitais das matrizes (bandas espectrais) ocorre a partir da definição de um determinado número de clusters (k clusters) fixados a priori. Inicialmente há a definição de k centroides, um para cada cluster. O pixel pertencente a um determinado conjunto de dados é associado ao centroide mais próximo (distância mínima).

A distância entre um ponto p_i e um conjunto de clusters $\chi = \{x_1, x_2, \dots, x_k\}$ é obtida por meio da seguinte equação:

$$d(P, \chi) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d(p_i, \chi)^2 \quad (5)$$

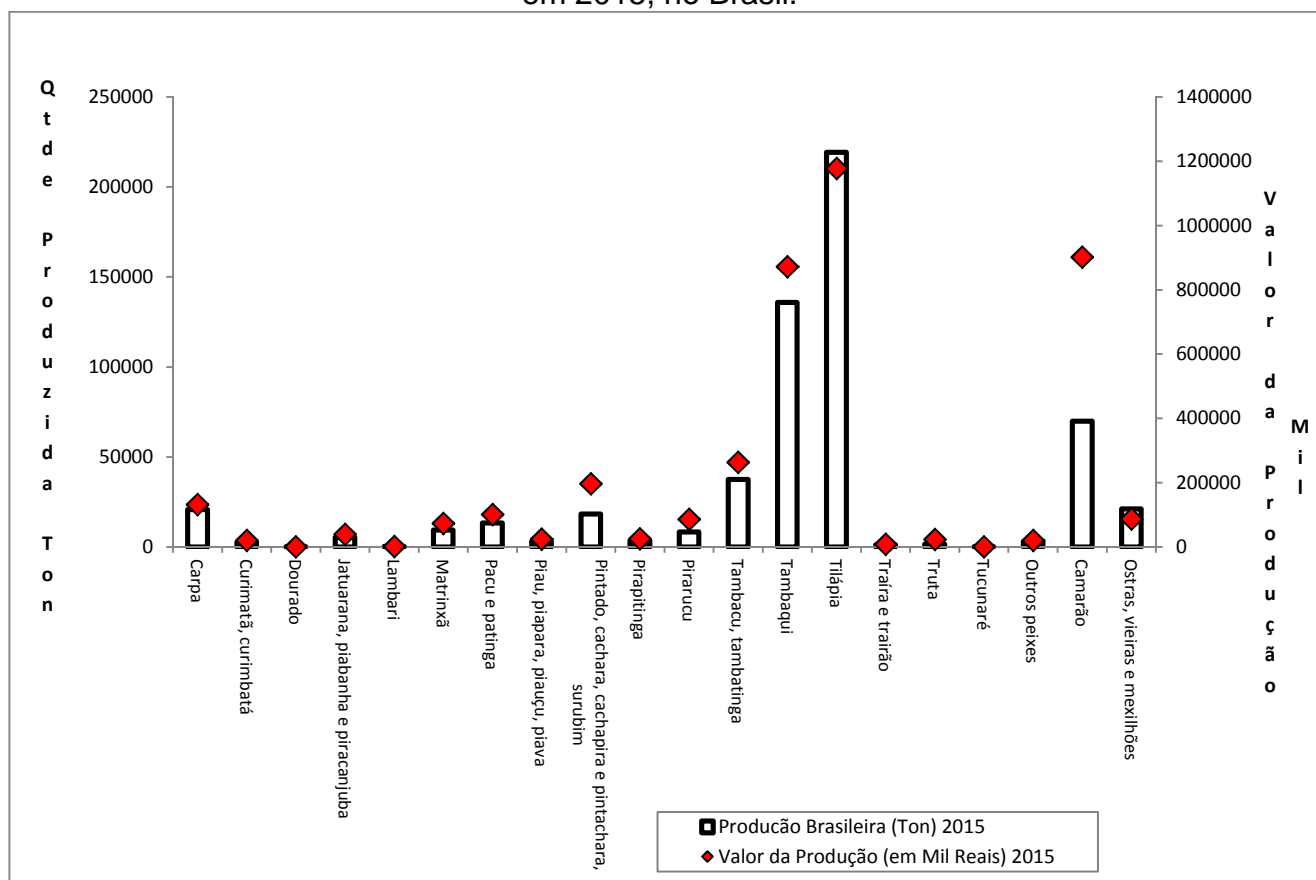
Quando nenhum ponto está pendente, o primeiro passo é concluído e um agrupamento inicial é constituído. Novamente, k novos centroides dos clusters, resultantes do passo anterior, são constituídos e há uma nova ligação entre os mesmos pontos de ajuste e o novo centroide mais próximo. Como resultado deste loop, k centroides mudam sua localização passo a passo até que os centroides não se movimentem mais ou que o número de iterações definido seja atingido. Esse algoritmo visa minimizar uma função de erro ao quadrado, reduzindo a variabilidade dentro do cluster (LINDEM, 2009; ENVI, 2017).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 - Especialização e análise dos dados de produção agrícola e pecuária municipal

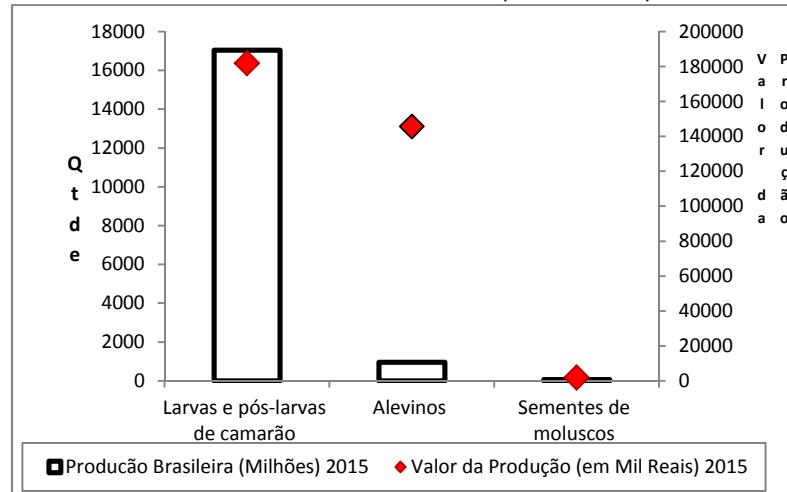
Em 2015, a produção aquícola brasileira correspondeu a quase 575 mil toneladas, com destaque para tilápia, tambaqui e camarão, além da produção de larvas de camarão e alevinos. Nota-se que o valor da produção do camarão e de alevinos traz um bom retorno financeiro (Figuras 8 e 9)

Figura 8- Produção (ton.) e valor da produção (mil) de peixes, ostras e camarões, em 2015, no Brasil.



Fonte dos dados: IBGE (2017); Org: Dompieri(2017)

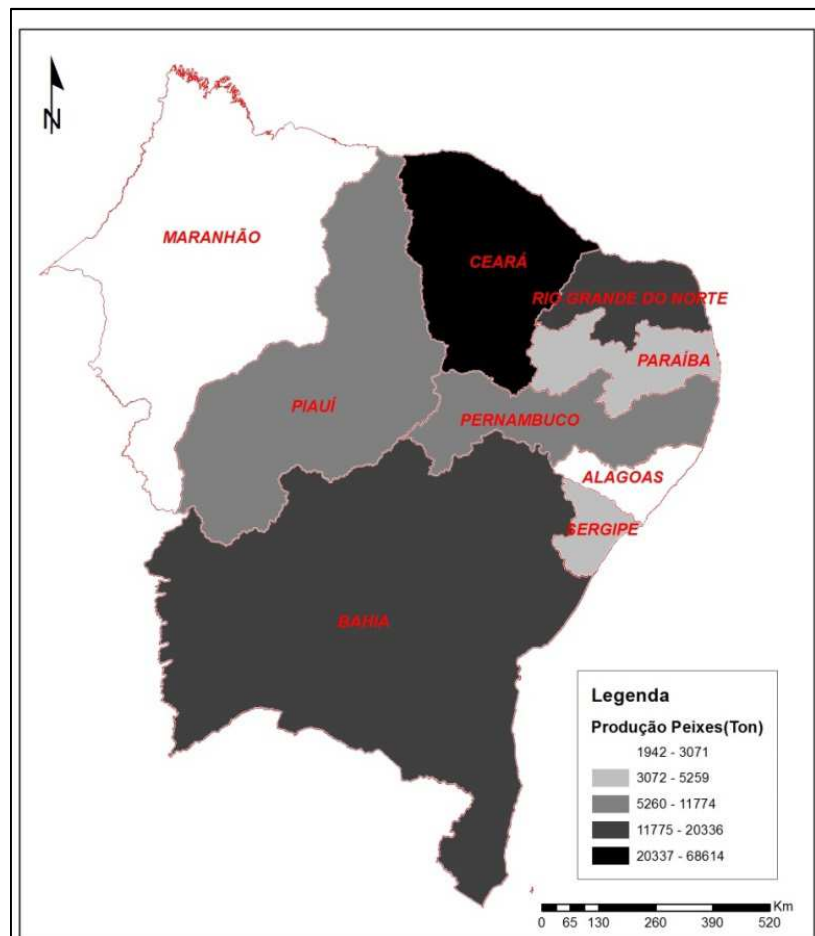
Figura 9 - Produção (ton.) e valor da produção (mil) de larvas e pós-larvas de camarão, alevinos e sementes de moluscos, em 2015, no Brasil.



Fonte dos dados: IBGE (2017); Org: Dompieri(2017)

A região Nordeste liderou a produção de peixes, respondendo por quase 30% do total, com grande distinção ao estado do Ceará, que produziu cerca de 70 mil ton. (Figura 10).

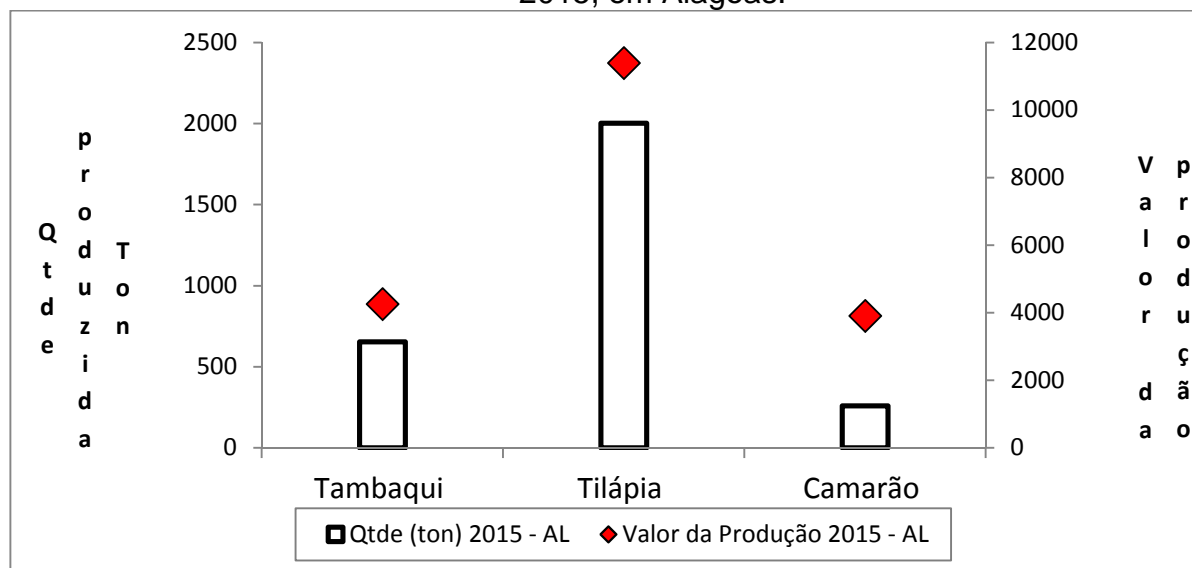
Figura 10 – Produção de peixes nos estados da Região Nordeste (ton.)



Fonte dos dados: IBGE (2017). Org: Dompieri(2017).

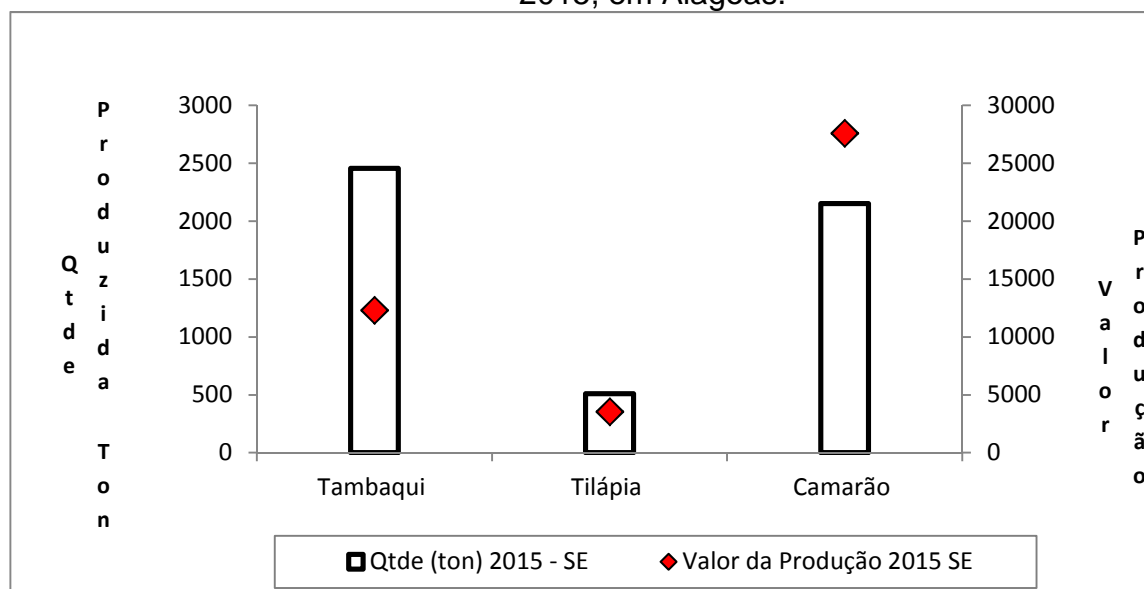
Em Alagoas a produção de tilápia se destacou enquanto que em Sergipe, a relevância foi para as produções de tambaqui e camarão (Figuras 11 e 12).

Figura 11- Produção (ton.) e valor da produção (mil) de tambaqui, tilápia e camarão, em 2015, em Alagoas.



Fonte dos dados: IBGE (2017). Org: Dompieri(2017).

Figura 12- Produção (ton) e valor da produção (mil) de tambaqui, tilápia e camarão, em 2015, em Alagoas.

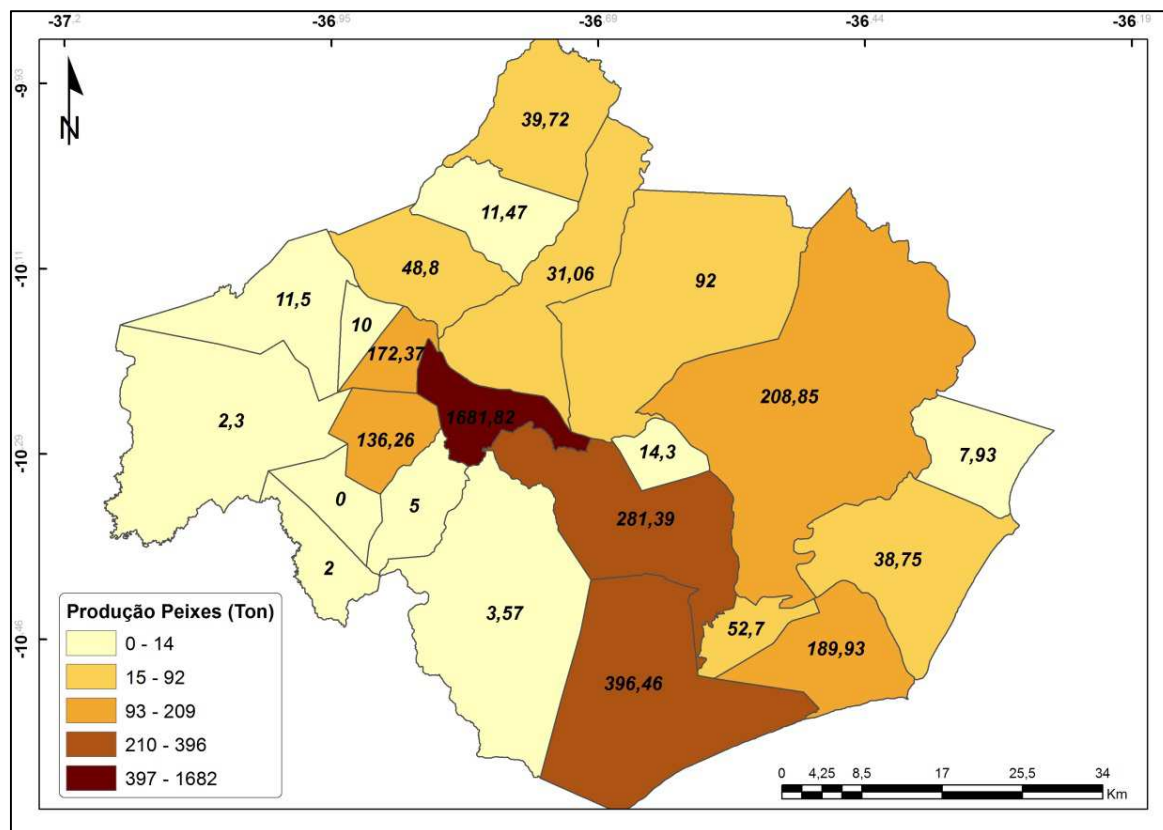


Fonte dos dados: IBGE (2017). Org.: Dompieri(2017).

A partir da Figura 13, tem-se a espacialização em intervalos de classes das produções de peixes (ton.) na área de estudo. Observa-se que a produção do município

de Propriá (SE) foi maior que todos os demais municípios juntos, equivalente a cerca de 1700 ton.

Figura 13 – Produção de peixes (ton.) nos municípios do Baixo São Francisco.

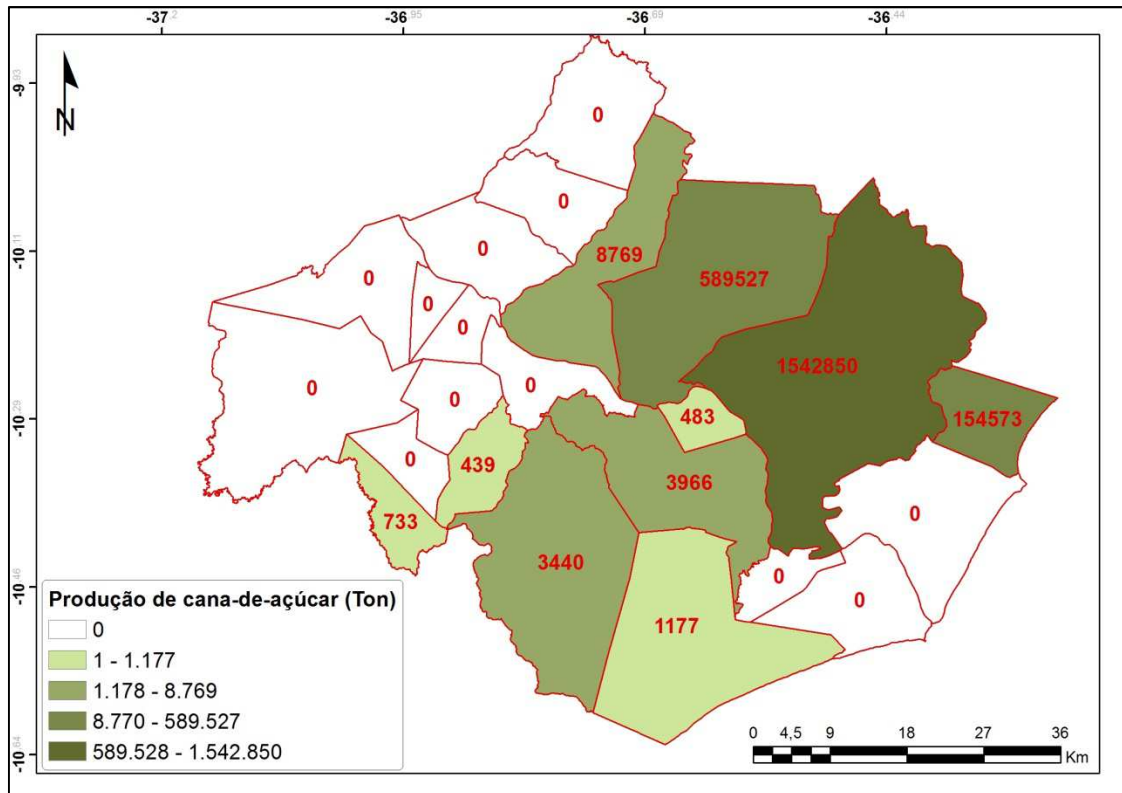


Org.: Dompieri (2017)

Quanto à rizicultura, o Brasil produziu na safra 2015 o equivalente a 1,23 milhões de toneladas de arroz (casca), sendo que a Região Sul do país contribui com 80% do total, seguida pelas Regiões Norte e Centro-Oeste, que juntas produziram cerca de 15%, as regiões Nordeste e Sudeste ficaram com os 5% restantes. O estado do Maranhão (315 mil ton.) liderou isoladamente a produção no Nordeste do Brasil, seguido pelo Piauí (100 mil ton.), Sergipe e Alagoas juntos responderam por quase 43 mil toneladas, sobretudo no vale do Baixo São Francisco.

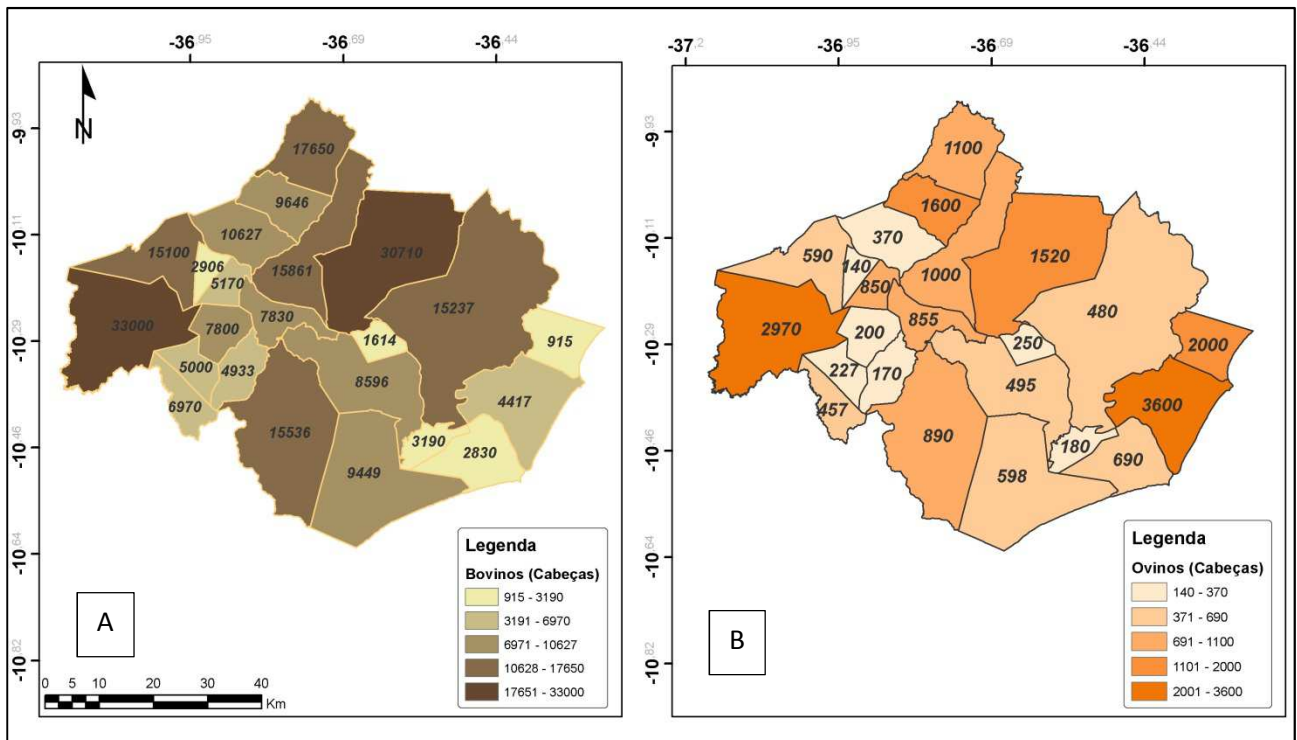
Nota-se pela Figura 14 que a produção de arroz se destaca nos municípios de Igreja Nova e Porto Real do Colégio em Alagoas. Em Sergipe, têm-se os municípios de Ilha das Flores, Brejo Grande, Neópolis e Propriá. Os sistemas de cultivo de arroz no Baixo São Francisco ocorrem em áreas não irrigadas que encharcam e formam lâmina-d'água após as chuvas (sequeiro) e por meio de sistemas irrigados que envolvem ou não o controle da água. (RABELO, et al., 2013).

Figura 15 - Produção de cana-de açúcar (ton.) nos municípios do Baixo São Francisco.



Org.: Dompieri(2017)

Figura 16 - Produção de bovinos e ovinos (cabeças) nos municípios do Baixo São Francisco



Org.: Dompieri(2017)

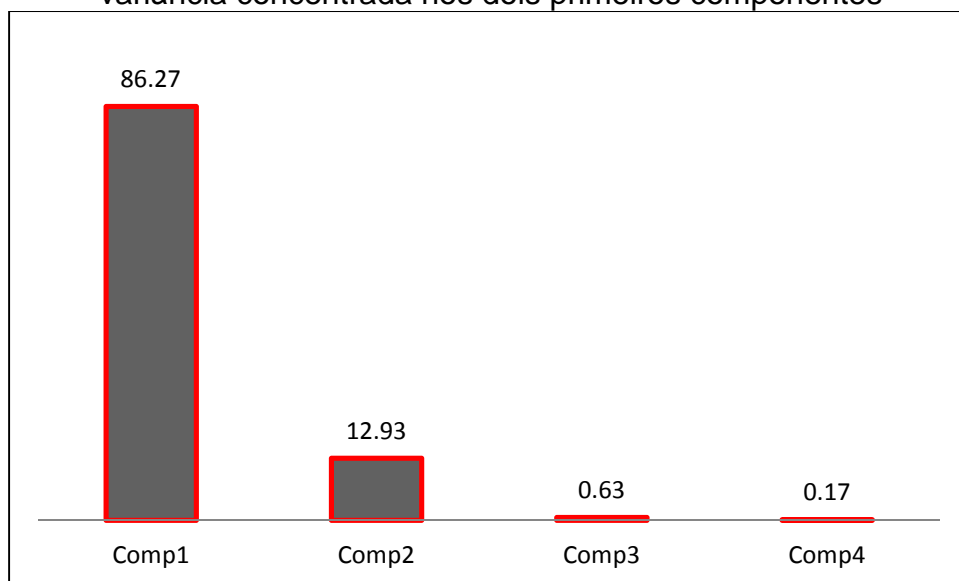
4.2- Análise do processamento das imagens orbitais

Os dados digitais providos dos sensores remotos são armazenados na forma de matrizes de números digitais (DN) georreferenciadas, cujos valores e dimensões dependem da resolução radiométrica (bit) e espacial (m). O número total de matrizes ou bandas resultantes de um imageamento varia em função da resolução espectral (nm). Trabalhou-se com quatro bandas corrigidas, com resolução espectral de 12 bits, resolução espacial de 10 metros e resolução espectral de 490 nm (B2), 560 nm (B3), 665 nm (B4), 842 nm (B8); advindas do sensor MSI, satélite Sentinel2 da Agência Espacial Europeia (ESA).

No pré-processamento ocorreram os trabalhos de mosaicagem e recorte das cenas em função da área de estudo. Em seguida, na fase de processamento, houve a execução da transformação do conjunto de dados por meio de obtenção dos componentes principais e do processamento pelo método de agrupamento não-supervisionado tanto dos conjuntos originais (Bandas 2,3,4,8) quanto dos dois primeiros componentes principais. Como se tratou de técnica não supervisionada, não houve o cálculo do índice kappa no pós-processamento para identificação da acurácia da classificação.

A transformação por componentes principais se deu por meio da matriz de covariância. Nota-se pela Figura 17 que a variância do conjunto de dados ficou concentrada (99,2%) nos dois primeiros componentes.

Figura 17- Gráfico com resultado da transformação por componentes principais – variância concentrada nos dois primeiros componentes



Org.: Dompieri(2017)

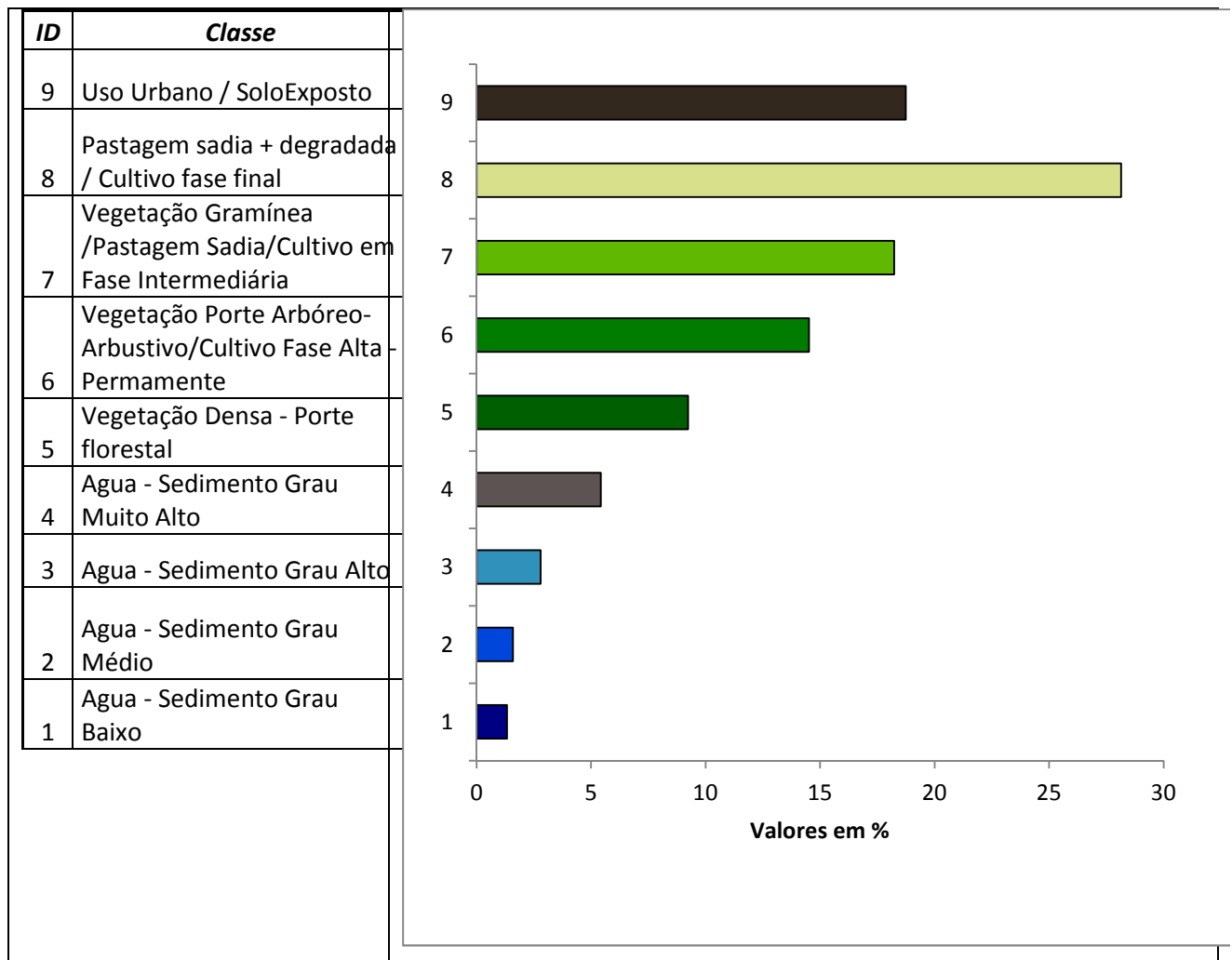
Os parâmetros para o processamento tanto do agrupamento a partir das quatro bandas originais (B2,B3,B4,B8) quanto dos dois primeiros componentes foram de 10 clusters e cinco iterações, parâmetros inseridos a priori.

O resultado da classificação encontra-se nos gráficos das Figuras 18 e 19, sendo a primeira referente ao processamento do conjunto sem rotação (B2,B3,B4,B8) e o segundo com os dois primeiros componentes gerados da ACP. A representação das classes resultantes do agrupamento no Quadro 1 obedece ao padrão de cores definido nas Figuras supracitadas.

A partir de análise por comparação, tendo como base um conjunto de dados de maior resolução espacial, foi possível observar que o processo de agrupamento (K-means) com base nos componentes principais permitiu uma melhor separação das classes de uso do solo (sobretudo pastagem degradada, sadia e solo exposto), além de representar economia de tempo de processamento, pois diminuiu o número de bandas a serem computadas.

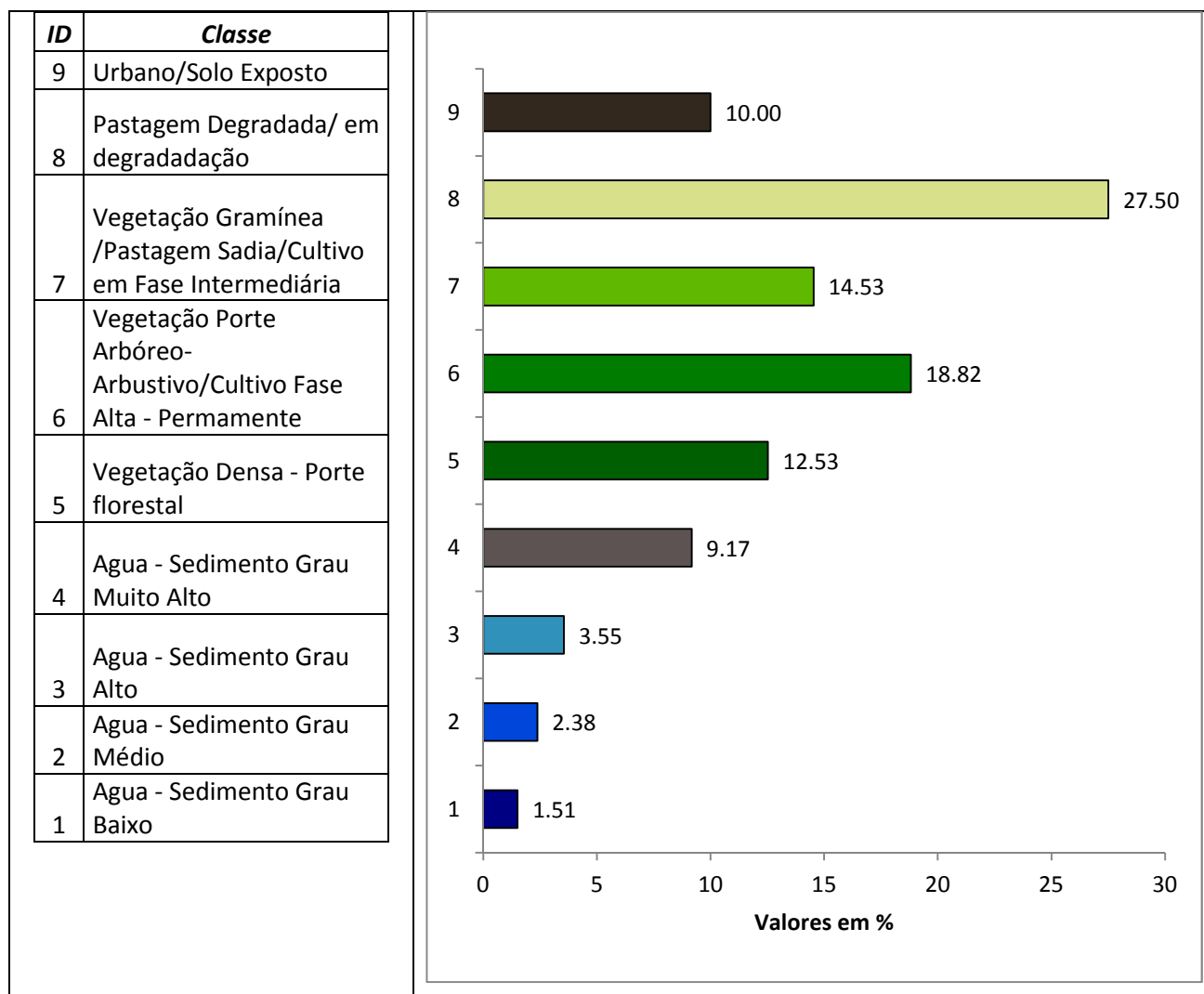
A classe predominante foi aquela em que se constatou a ocorrência de pastagem degradada ou em processo de degradação (28%). Quase 15% do total das águas superficiais mapeadas apresentou alta ocorrência de sedimento em suspensão, indicando forte assoreamento dos corpos hídricos. No entanto, é importante relatar que, como a imagem foi obtida em 16 de maio, início do período chuvoso, é possível que haja influência do estresse hídrico na reflectância e, portanto, também no agrupamento.

Figura 18- Resultado do agrupamento de pixels a partir do processamento das quatro bandas originais (B2,B3,B4,B8) e associação dos grupos com as classes de uso do solo.



Org.: Dompieri (2017)

Figura 19- Resultado do agrupamento a partir do processamento dos dois primeiros componentes principais (PC1, PC2) e associação dos grupos com as classes de uso do solo.




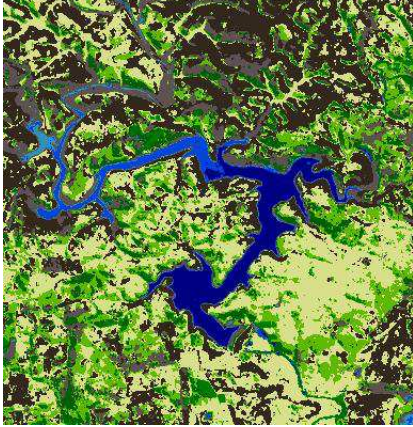







Org.: Dompieri (2017)

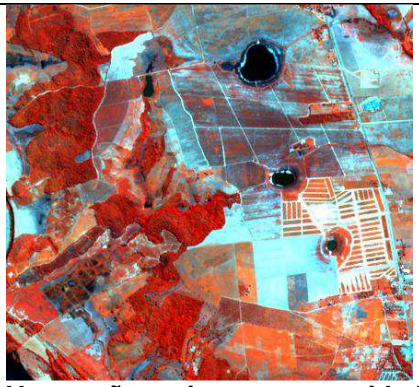
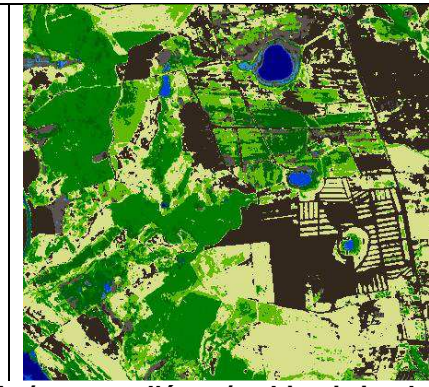
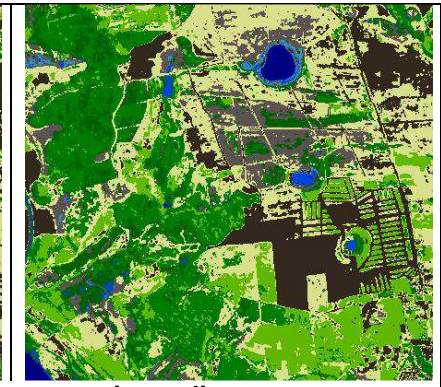

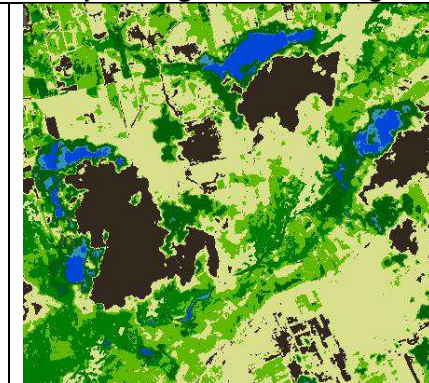
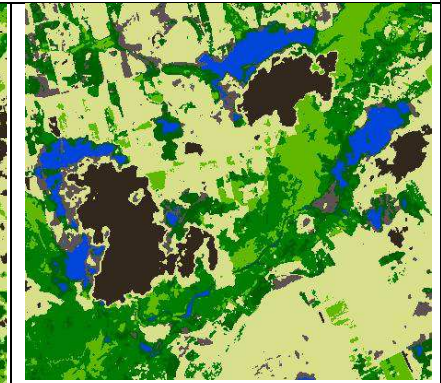

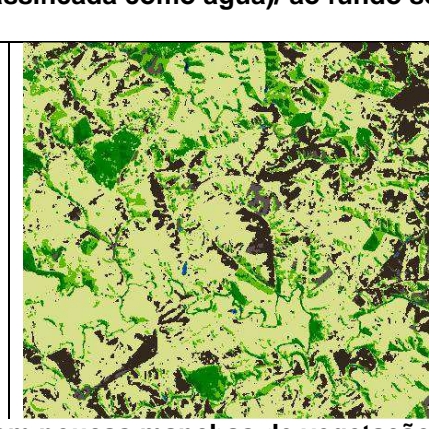



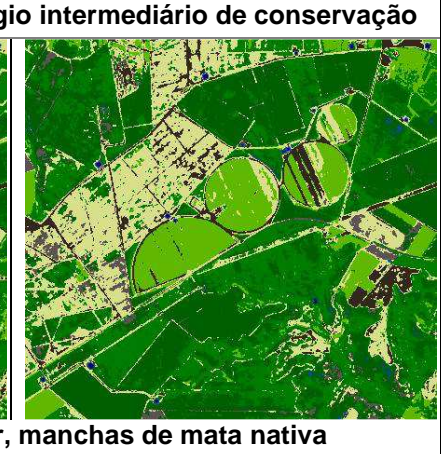
O Quadro 1 traz na primeira coluna amostras do conjunto original de dados na composição R8G3B2, em que a vegetação (Infravermelho ou banda 8) é refletida no canal vermelho. Na segunda coluna encontra-se a classificação resultante do processamento K-means a partir do conjunto original dos dados (B2,B3,B4,B8) e na terceira, aquela feita pelos dois primeiros componentes principais.





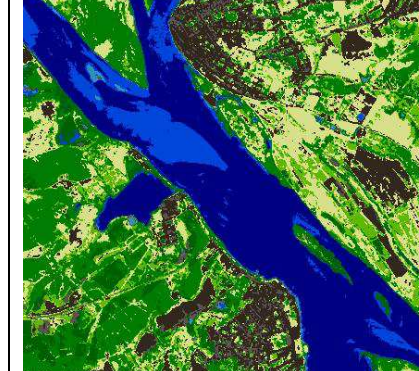


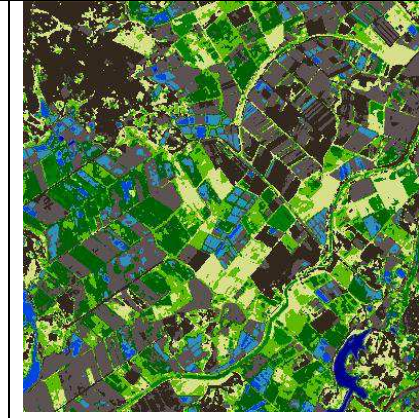
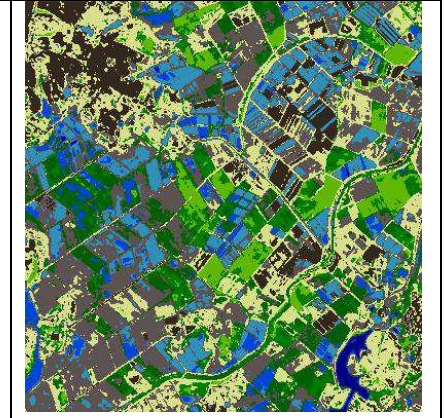

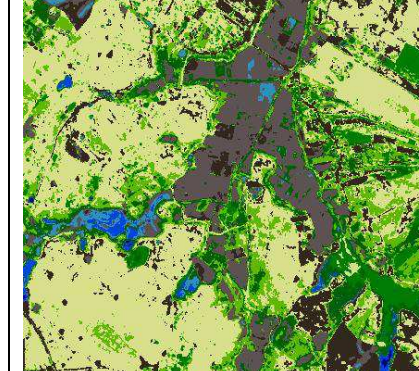
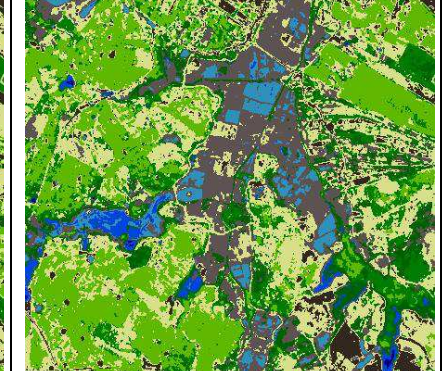
Apesar de uma boa parte da região de estudo ter tido sua vegetação nativa devastada ao longo das décadas, desde os primórdios de ocupação do país, ainda existem remanescentes (Mata Atlântica - Quadro1-L) e áreas passíveis de serem recuperadas (Quadro1-K), como APP hídricas ou matas ciliares, cuja ausência culmina com um maior assoreamento dos corpos hídricos, diminuindo a quantidade e qualidade desse recurso.

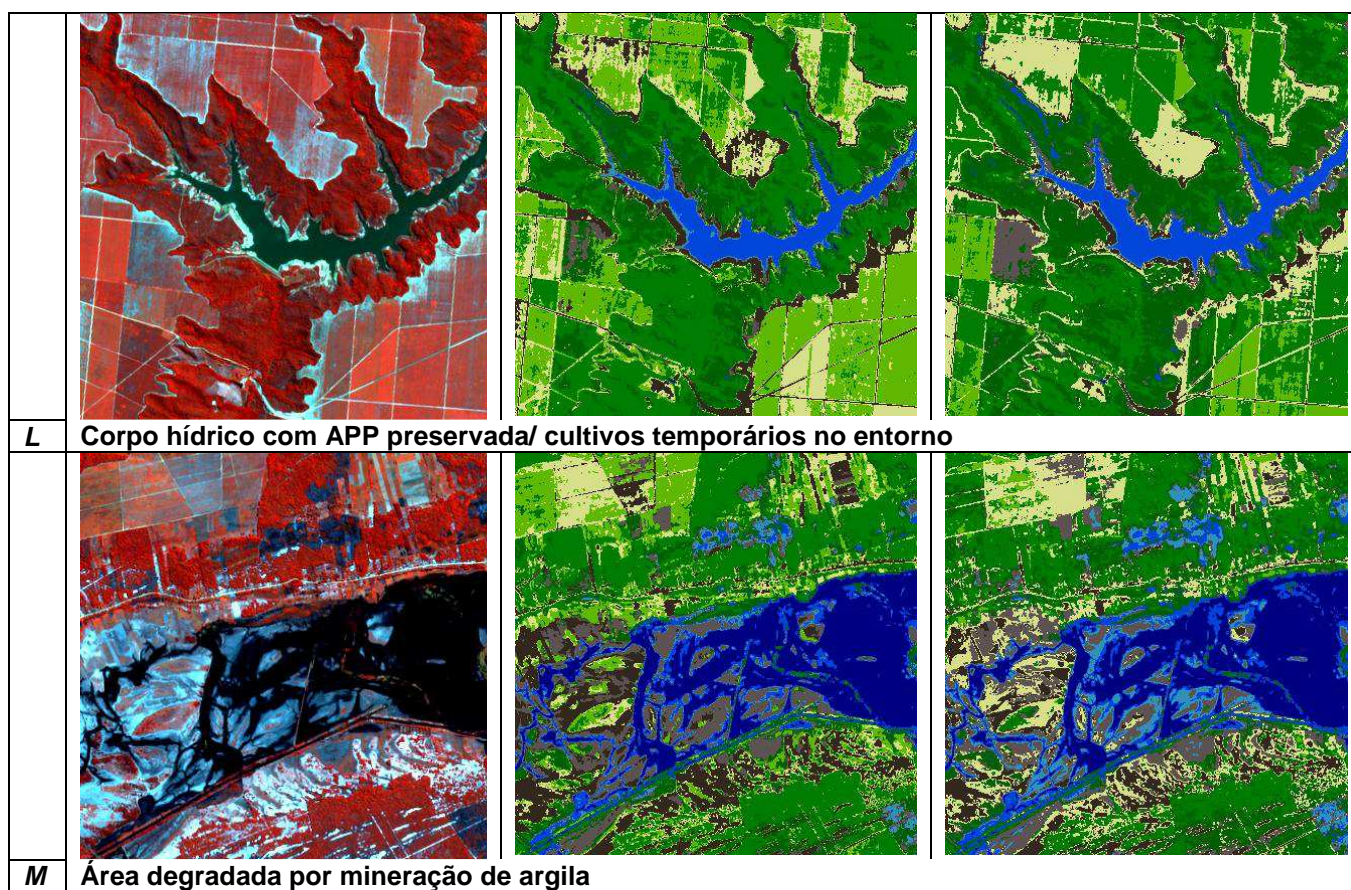
Outro fato constatado na área foi a degradação do solo pela prática de mineração (Quadro1-M), sobretudo de argila, atividade que provavelmente não possui um zoneamento definido por parte dos órgãos públicos de licenciamento para garantir a sustentabilidade dos ecossistemas locais e evitar conflitos de uso.

Quadro 1- Amostras com resultado da classificação não-supervisionada

<i>ID</i>	Cena orbital composição R8G3B2	K-means Bandas 2,3,4,8 (10m)	K-means ACP – 2 primeiros Componentes
A			
	Corpos hídricos / área de pastagem degradada e solo exposto		
B			
	Corpos hídricos / área de mangue/ viveiros de camarão/ dunas / sedimento costeiro/ mar		
C			
	Cultivo irrigado fase alta/ mancha de vegetação nativa com textura rugosa		

			
D	Vegetação nativa com rugosidade / corpos d'água/ cultivo irrigado com muito sedimento		
			
E	Nuvens e sombra de nuvens (classificada como água)/ ao fundo solo exposto em processo de degradação		
F			
F	Área de gramínea (pastagens) com poucas manchas de vegetação nativa e solo exposto – nota-se que a segunda classificação agrupou melhor a pastagem em estágio intermediário de conservação		
G			
	Pivos de irrigação (círculos), cultivo em fase alta – cana-de-açúcar, manchas de mata nativa		

H			
I			
J			
K			
	<p>Área de cultivo de arroz (água com sedimento) e área de pastagem sadia e degradada</p>		



Tais resultados permitem a confecção de documentos cartográficos para fins de planejamento e ordenamento territorial com a finalidade de se evitar conflitos de uso, propor ações para o gerenciamento dos recursos hídricos, conservação de recursos genéticos e melhoria da condição socioeconômica da população.

Os conflitos mais comuns estão relacionados com o uso da água. Desde a década de 1970, inúmeras barragens vêm sendo construídas ao longo do rio sem a consideração dos efeitos à jusante. Tal fato somado à retirada indiscriminada de matas nativas, sobretudo matas ciliares (APP hídricas) e reservas legais, possuem como consequência o assoreamento dos corpos hídricos, diminuindo a quantidade e qualidade da água continental superficial.

Consequências mais sérias, como a salinização das águas, já vem sendo sentidas por ribeirinhos e pescadores na parte baixa da bacia do São Francisco e corroboradas por pesquisas. Gonçalves (2016) identificou que no período de 1927 a 2015, na Estação 49740000 em Penedo-AL, mostrou que as cotas máximas e os episódios de cheias vêm diminuindo e o pH aumentando, evidenciando o processo de salinização. Ele ocorre por conta da diminuição da vazão do rio e avanço da água do mar, trazendo danos irreparáveis ao abastecimento hídrico da população, às atividades agropecuárias e aos solos, tornando-os improdutivos.

Há também divergências entre as próprias atividades agropecuárias. Mesmo sendo considerado comum o consórcio do cultivo de arroz com a criação de peixes, tal prática se apresenta como um conflito de uso. Significativas concentrações de piretróides (usado como inseticida para controle de praga) foram identificadas nas águas de abastecimento das pisciculturas do perímetro do município de Propriá, a partir da coleta de amostras de água em dez pisciculturas (Figuras 20 e 21), entre Nov/2016 e Jan/2017, sendo três pontos dos afluentes do Rio São Francisco e nove canais de abastecimento das pisciculturas (CUNHA, et al. 2017).

Segundo Rabelo et al. (2013), poucos orizicultores utilizam agrotóxicos seguindo critérios técnicos. Na maioria das vezes, a aplicação de fungicidas e inseticidas é feita desconsiderando o momento certo da aplicação, ocasionando excessos. A aplicação é feita com pulverizador costal manual, em que a dose nem sempre é calculada.

Embora possuam baixa toxicidade aos mamíferos e aves quando comparados a outros inseticidas, estudos comprovam que os piretróides são altamente tóxicos aos organismos aquáticos e alguns insetos não alvo, como as abelhas – responsáveis pela polinização na agricultura. A literatura indica que os piretróides causam alterações endógenas (disfunção hepática), comportamentais (alterações no sistema nervoso central) hematológicas (em função do efeito estressante) e também na cadeia reprodutiva dos peixes (BORGES, 2005; CENGIS;UNLU,2006; SANTOS et al. 2007, SELVI,2008 apud MONTANHA;PIMPÃO,2012).

Figura 20- Localização das amostras de água coletadas no município de Propriá(SE) para avaliação do grau de concentração de piretróides sobre imagem sentinel2.



Fonte: ESA (2007);USGS (2007). Org. Dompieri (2017)

Figura 21- Cultivo de arroz (A) e tanques destinados a criação de peixes.



Fotografia: A- Cunha (2017); B- Dompieri (2017)

Os resíduos resultantes dos viveiros de peixes e camarões, compostos por matéria orgânica e outros compostos químicos, como antibióticos, também necessitam de controle, tratamento e correta destinação.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados obtidos constatou-se que quase 40% da área encontram-se cobertos por solo exposto, somado a pequenos núcleos urbanos, pastagens degradadas ou em processo de degradação. Verificou-se também o alto grau de sedimentos em suspensão nas águas, indicando assoreamento severo dos corpos hídricos. As intervenções antrópicas ao longo de toda bacia do rio São Francisco, como a construção de barragens e o desmatamento indiscriminado possuem como consequência o assoreamento dos corpos hídricos, diminuindo a quantidade e qualidade da água continental superficial. Consequentemente, a salinização das águas do São Francisco já vem sendo constatada na parte mais baixa da bacia.

O uso indiscriminado de insumos agropecuários e pesticidas é outra questão que deve ser ressaltada, uma vez a prática contamina os corpos hídricos, os solos, e prejudicam outras atividades como a criação de peixes.

Os resultados advindos de processamento de imagens orbitais por meio de técnicas de estatística multivariada (ACP e K-means) se mostraram eficientes para uma análise exploratória do conjunto de dados. São norteadores para processos supervisionados de tratamento de dados. Tais análises geram produtos cartográficos capazes de orientar tecnicamente o planejamento do espaço.

6. REFERÊNCIAS

ABDI. H.; WILLIAMS, L.J. Principal component analysis. Wiley Interdisciplinary Reviews: **Computational Statistics**, s/n, 2, p. 433–459, 2010.

ANA. Agência Nacional das Águas. HidroWeb – Sistema de Informações Hidrológicas. **Bacia do São Francisco**. Disponível em < <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/>> Acesso em: 13 ago. 2017.

BORGES, A. **Valores hematológicos e bioquímicos séricos, efeitos de doses subletais da cipermetrina e características físico-químicas do sêmem do Jundiá Rhamdia quelen**. Porto Alegre, 2005. 175 f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005.

CENGIZ, E. I.; UNLU, E. Sublethal effects of commercial deltamethrin on the structure of the gill, liver and gut tissues of mosquitofish, *Gambusia affinis*: A microscopic study. **Environmental Toxicology and Pharmacology**, n. 21, p. 246- 253, 2006.

CUNHA, F.S.; SOUZA, R.M.; MENESES, J.O.; LIMA, B.S.; CARVALHO, Y.M.B.; ARAÚJO, A.A.S.; SENA FILHO, J.G.; DOMPIERI, M.H.G.; MARIA, A.N.; CARNEIRO, P.C.F.; FUJIMOTO, R.Y. **Análise de piretróides em corpos d'água da região do Baixo São Francisco: incentivo à formulação de políticas públicas**. Comunicado Técnico. (Embrapa Tabuleiros Costeiros), no prelo.

DNPM. Departamento Nacional de Produção Mineral. **SIGMINE**. Disponível em: <http://sigmine.dnpm.gov.br/webmap> Acesso em 13 ago. 2017.

ENVI Tutorials – Harris Geospatial Solutions, 2017. Disponível em: <http://www.harrisgeospatial.com/Support/SelfHelpTools/Tutorials.aspx> Acesso em 5 ago 2017.

ESA. European Spatial Agency. User Guides. **Spatial Resolution**. Disponível em: <https://earth.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/resolutions/spatial>. Acesso em 5 jul. 2017.

ESQUERDO, J.C.D.M; PARIZZI, T.N.T.; COUTINHO, A.C; ANTUNES, J.F.G.; BERTOLO, L.S. Dinâmica do uso e cobertura da terra na mesorregião nordeste mato-grossense. In Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 18, Santos, SP: **Anais...**, 2017. Disponível em: <https://proceedings.galoa.com.br/sbsr>. Acesso em: 28 jul. 2017.

ESTEVES, J. C. B. **Desenvolvimento rural e subdesenvolvimento econômico no Baixo São Francisco Sergipano**. São Cristóvão, 2012. 107f. Dissertação (Mestrado Profissional em Desenvolvimento Regional e Gestão de Empreendimentos Locais). Universidade Federal de Sergipe, 2012.

ESTORNELL, J., MARTÍ-GAVILÁ, J.M, SEVASTIÁ, T.; MENGUAL, J. Principal component analysis applied to remote sensing. **Modelling in Science Education and Learning**, Vol 6(2), n. 7, 2013.

FLORENZANO, T.G. **Iniciação em Sensoriamento Remoto**. São Paulo: Oficina de Texto, 2011.

FREIRE, R.R. Integridade ambiental de corpos d'água: degradação ambiental, funções ecossistêmicas e perda de serviços ecossistêmicos no baixo São Francisco. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**. Vol. 2, n.1, 2014.

GONÇALVES, M.J.S. Avaliação do impacto ambiental da redução de vazão na foz do rio São Francisco. In: Simpósio da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, 1, Juazeiro, BA. **Anais ...**, 2016. Disponível em : < <http://cbhsaofrancisco.org.br/Documentos>>. Acesso em: 29 jul. 2017.

IBGE. **Bases e Referenciais. Bases Cartográficas. Malhas digitais**. Municipal. Rio de Janeiro. Disponível em <https://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/malhas-digitais.html> Acesso em: 10 ago. 2017.

IBGE. **Produção Agrícola Municipal - Área plantada ou destinada à colheita, área colhida, quantidade produzida, rendimento médio e valor da produção das lavouras temporárias e permanentes**. Rio de Janeiro. Sistema IBGE de recuperação automática, SIDRA. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 25 ago. 2017.

IBGE. **Produção Pecuária Municipal - produção da aquicultura, por tipo de produto**. Rio de Janeiro. Sistema IBGE de recuperação automática, SIDRA. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 25 ago. 2017.

JENSEN, J.R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. Tradução de José Carlos Neves Epiphanyo (coordenador)... [et al.] São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009.

LI, J.; FAN, K.; ZHOU, L. Satellite Observations of El Niño Impacts on Eurasian Spring Vegetation Greenness during the Period 1982–2015. **Remote Sensing**. 9, 628, 2017.

LINDEN, R. Técnicas de Agrupamento. **Revista de Sistemas de Informação da FSMA**, n. 4, p 18-36, 2009.

LIU, H.; LI, Q.; SHI, T.; HU, S.; WU, G.; ZHOU, Q. Application of Sentinel 2 MSI Images to Retrieve Suspended Particulate Matter Concentrations in Poyang Lake. **Remote Sensing** 9, 761, 2017.

LIU, J.G; MASON, P.J. **Essencial image processing and GIS for remote sensing**, Wiley-Blackwell:Chichester, UK, 2009, 437 p.

MACQUEEN J.B. Some Methods for classification and Analysis of Multivariate Observations. In: 5-th Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability. , **Proceedings** Berkeley, University of California Press, 1:281-297, 1967.

MARTINS, D. M. F; CHAGAS R.M.; MELO NETO, J.O.; MÉLLO JÚNIOR, A.V. Impactos da construção da usina hidrelétrica de Sobradinho no regime de vazões no Baixo São Francisco. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, Campina Grande , v. 15, n. 10, p. 1054-1061, Oct. 2011 . Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662011001000010&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 01 Set. 2017.

MENESES, P.R. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília: UNB, 2012.

MONTANHA, F.P., PIMPÃO, C. T. Efeitos toxicológicos de piretróides (cipermetrina e deltametrina) em peixes – revisão. **Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária**, Ano IX, n. 18, 2012.

MOREIRA, M.A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. 2 ed. Viçosa - MG: UFV, 2003. 307 p.

NITZE, I.; GROSSE, G.; JONES, B.M.; ARP, C.D.; ULRICH, M.; FEDOROV, A.; VEREMEEVA, A. Landsat-Based Trend Analysis of Lake Dynamics across Northern Permafrost Regions. **Remote Sensing**. 9, 640, 2017.

PEARSON, K. On Lines and Planes of Closest Fit to Systems of Points in Space. **Philosophical Magazine**, 2 (6), p. 559–572, 1901.

PIMPÃO, C. T.; ZAMPRONIO, A. R.; SILVA DE ASSIS, H. C. Effects os deltamethrin on hematological parameters and enzymatic activity in *Ancistrus multispinis* (Pisces, Teleostei). **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 88, p. 122-127, 2007

RABELO, R.R., SANTOS, A.L.C., SILVA, B.C.; FREIRE, J.B. **Cadeia produtiva orizícola do Baixo São Francisco**: antecedentes, situação atual, perspectivas e atuação de alguns componentes. Documentos (Embrapa Arroz e Feijão) , 2013.

SANTOS, M. A. T.; AREAS, M. A.; REYES, F. G. R. Piretróides - uma visão geral. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 18, n. 3, p. 339-349, 2007.

SELVI, M.; SARIKAYA, R.; ERKOÇ, F.; KOÇAK, O. Acute toxicity of the cyfluthrin pesticide on guppy fish. **Environmental Chemistry Letters**, 2008.

USGS. United States Geological Survey. Earth Explorer – **Landsat e Sentinel Images**. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov>. Acesso em: ago 2017.